



(2)

(19) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

(12) **Patentschrift**
(10) DE 198 54 168 C 2

(51) Int. Cl. 7:
C 21 D 8/00
B 21 D 53/28
B 21 D 22/14

(21) Aktenzeichen: 198 54 168.6-24
(22) Anmeldetag: 24. 11. 1998
(23) Offenlegungstag: 5. 1. 2000
(25) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 25. 5. 2000

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

<p>(73) Patentinhaber: Leico GmbH & Co. Werkzeugmaschinenbau, 59229 Ahlen, DE</p> <p>(74) Vertreter: Weber & Heim Patentanwälte, 81479 München</p>	<p>(61) Zusatz zu: 197 24 661.3</p> <p>(72) Erfinder: Köstermeier, Karl-Heinz, 33397 Rietberg, DE</p> <p>(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften: DE 31 11 249 A1 US 56 71 628 A DD 238073 A1/S.2, Abschnitt "Darlegung des Wesens der Erfindung"; Patent Abstracts of Japan, C-432, 1987, Vol.11, No.202. JP 62-23930 A; Wosnizok, Wolfgang: Werkstoffe kurz und übersichtlich, 15.Aufl., Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1988, S.65,70; Drückwalzen von Verzahnungen in Lamellenträgern, In: Bänder Bleche Rohre, 1994, Nr. 1, S. 38;</p>
--	--

- (54) Verfahren zur Herstellung eines verzahnten Getriebeteils
 (57) Verfahren zur Herstellung eines profilierten Getriebeteils, bei dem
 - ein Werkstück aus einem Stahlwerkstoff durch Drückwalzen umgeformt und
 - dabei eine Profilierung in das Werkstück eingeformt wird,
 dadurch gekennzeichnet,
 - daß die Profilierung in das Werkstück bei einer Temperatur unterhalb der Rekristallisationstemperatur des Stahlwerkstoffes drückgewalzt und dabei das Werkstück gezielt kaltverfestigt wird,
 - daß nach dem Umformen die Oberfläche des mit der Profilierung versehenen Werkstückes wärmeverzugsfrei gehärtet wird und
 - daß die Temperatur des Werkstücks während der wärmeverzugsfreien Härtung der Oberfläche unterhalb der Rekristallisationstemperatur des Stahlwerkstoffes gehalten wird.

Beschreibung

Die Anmeldung ist eine Zusatzanmeldung zum Hauptpatent DE 197 24 661. Die Offenbarung des Hauptpatents wird ausdrücklich auch zum Inhalt dieser Zusatzanmeldung gemacht.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines profilierten Getriebeteils gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Bei derartigen Verfahren ist es bekannt, durch eine radiale Verformung Körper zu stauchen und diese dabei mit einer Außen- oder Innenverzahnung zu versehen. Dies kann durch radiales Zutstellen einer Verzahnungsrolle für eine Außenverzahnung oder durch Andrücken an einen außenverzahnten Drückdorn für eine Innenverzahnung erfolgen. Innen- und/oder außenverzahnte Teile werden beispielsweise bei Starterkränzen, Zahnrädern oder Lautverzahnungen eingesetzt. Ein gattungsgemäßes Verfahren zur Herstellung eines Lamellenträgers für Automatikgetriebe ist beispielsweise aus dem Artikel: "Drückwalzen von Verzahnungen in Lamellenträgern", in: Bänder, Bleche, Rohre, 1/1994, Seite 28 bekannt.

Bei Zahnrädern von Getrieben kommt es besonders darauf an, eine harte, verschleißarme Schicht an den Zahntiefen der Verzahnungen zu erzeugen, damit beim Eindringen von Schnutzelementen keine Mikrorisse in den Oberflächen der Zahntiefen entstehen. Die Vermeidung solcher Mikrorisse ist wichtig, da diese zur Grübchenbildung in der Zahntiefenoberfläche und damit zur Zerstörung der Zahntiefen führen können.

Bei Getriebeteilen, bei welchen eine hohe mechanische Dauer- und Verschleißfestigkeit gefordert ist, werden Verfahren eingesetzt, welche die Verfahrensschritte mechanische Weichverarbeitung, Härtung/Einsatzhärtung und mechanische Hartbearbeitung aufweisen. Die zu fertigenden Teile werden zunächst aus einem Gußteil oder Halbzeug spanend herausgearbeitet. Voraussetzung für die mechanische Bearbeitung ist eine gute Spanbarkeit des Werkstoffes für das zu fertigende Teil. Dadurch können hohe Schnittgeschwindigkeiten realisiert werden, mit denen eine rationelle Fertigung möglich ist.

Eine Bearbeitung hochfester Werkstoffzustände ist schwierig. Außerdem ist eine Verfestigung des Werkstoffes während der Bearbeitung unerwünscht. Der Grund dafür ist die daraus resultierende Werkzeugbeanspruchung, die zum vorzeitigen Versagen dieser führt oder den Einsatz von teuren Hartmetallwerkzeugen notwendig macht. Außerdem entstehen bei der spanenden Bearbeitung von hochfesten Werkstoffzuständen hohe Temperaturen, die zur Veränderung der Mikrostruktur des zu bearbeitenden Werkstoffes führen können. Es kann beispielsweise zu Ausscheidungsvorgängen kommen, die eine Versprödung zur Folge haben.

Weiterhin können lokale Gefügeveränderungen die Ausbildung einer inhomogenen, rauanfälligen Struktur verursachen. Dazu kann nur durch einen wesentlichen höheren Kühlmitteleinsatz, was im Hinblick auf die Umweltbelastung unerwünscht ist, und durch die Herabsetzung der Schnittgeschwindigkeit begegnet werden.

Die durch eine zerspanende Verarbeitung erzeugten Oberflächen weisen zudem Mikrorauigkeit mit Rauigkeitsspitzen und -tiefen auf. Bei einer statischen oder dynamischen Beanspruchung des gefertigten Bauteils tragen zunächst nur diese Spitzen. Die Folge ist eine rasche Ermüdung dieser Werkstoffbereiche, eine lokale plastische Verformung und letztendlich das Abplatzen einzelner Teilbereiche. Dies führt zur Bildung von Grübchen und Furchen auf der Oberfläche. Weiter sind die durch das Zerspanen entstandenen Mikrokerben mögliche Ansatzpunkte für die Ausbildung

von Rissen.

Daher erfolgt in den meisten Fällen nach der mechanischen Bearbeitung eine vollständige oder lokale Vergütung oder Einsatzhärtung des zu fertigenden Teiles. Dadurch wird die Verschleißneigung herabgesetzt, sowie die Dauerfestigkeit und die Tragfähigkeit des Teiles erhöht. Die Wärmebehandlung der Bauteile ist dabei immer mit Maßänderungen und Verzug verknüpft. Ursachen sind Eigenspannungen durch die Umwandlung des Gefüges und unterschiedliche Ausdehnung einzelner Bereiche, die zu örtlichen plastischen Verformungen führen. Weiterer Nachteil einer Wärmebehandlung ist die Verzunderung der Oberfläche der behandelten Teile und der dazu notwendige Zeit- und Energieaufwand, der zu einer Verteuerung des Fertigungsprozesses führt. Die wärmebehandelten Teile müssen anschließend maßhaltig geschliffen werden, was einen zusätzlichen Fertigungsaufwand bedeutet.

Im Hauptpatent DE 197 24 661 wird zur Herstellung eines Zahnrades ein mikrolegierter, hochfester Haustahl verwendet, der beim Drückwalzen maximal umgeformt wird. Dabei wird eine hohe innere Festigkeit der geformten Zähne nach dem Umformprozeß erreicht. Die gewünschte Endhärte wird durch eine anschließende wärmeverzugsfreie Härtung angestrebt, welche aufgrund des fehlenden Wärmeverzuges eine Nachbearbeitung des Werkstückes entbehrlich macht.

Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, bei dem profilierte, insbesondere verzahnte Getriebeteile bei einer hohen Dauer- und Verschleißfestigkeit einfach gefertigt werden können.

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst.

Das gattungsgemäßes Verfahren zur Herstellung eines profilierten Getriebeteils, bei dem ein Werkstück aus einem Stahlwerkstoff durch Drückwalzen umgeformt wird und dabei eine Profilierung, insbesondere eine Verzahnung, in das Werkstück eingesetzt wird, ist dadurch erfundungsgemäß weitergebildet, daß das Werkstück bei einer Temperatur unterhalb der Rekristallisationstemperatur des Stahlwerkstoffes drückgewalzt und dabei gezielt kaltverfestigt wird, daß nach dem Umformen die Oberfläche des mit der Profilierung versehenen Werkstückes wärmeverzugsfrei gehärtet wird und daß die Temperatur des Werkstückes während der wärmeverzugsfreien Härtung der Oberfläche unterhalb der Rekristallisationstemperatur des Stahlwerkstoffes gehalten wird.

Durch eine entsprechende Wahl der beim Verfahren auftretenden Temperaturen wird zuverlässig die Rekristallisation des Stahls vermieden und so eine hochqualitative Härtung der Oberfläche bereitgestellt. Bei einem Umformen bis an die Streckgrenze des Stahlwerkstoffes, welcher ein üblicher Universalstaal oder der spezielle Stahl gemäß der Hauptanmeldung sein kann, wird eine hohe Kaltverfestigung erreicht. Beim anschließenden Härteten kommt es dabei nicht allein darauf an, daß durch zu schnelle Temperaturveränderungen ein Verzug eintritt, sondern daß die Kaltverfestigung voll erhalten bleibt. Dies wird durch ein Härteten unterhalb der Rekristallisationstemperatur erreicht. Diese ist abhängig vom Werkstoff sowie vom Umformgrad und kann unter 300°C liegen. Die beim Härteten erreichte Härte addiert sich voll zu der beim Umformen erreichten Härte und Festigkeit, so daß für Getriebe einsetzbare hochfeste Teile herstellbar sind.

Das Verfahren wird bevorzugt in der Weise durchgeführt, daß die wärmeverzugsfreie Härtung der Oberfläche des Werkstückes durch galvanisches Auftragen einer harten Schicht erfolgt. Ein solches Auftragen einer galvanischen Schicht ist ohne Überschreitung der Rekristallisationstemperatur

peratur des Werkstoffes möglich. Dabei wird ein Verzug beim galvanischen Auftragen durch entsprechende Temperaturführung ausgeschaltet. Die Verzahnung bleibt sowohl im Hinblick auf die Festigkeit als auch geometrisch unverändert. Es kommt lediglich eine zusätzliche Schicht durch das galvanische Auftragsverfahren hinzu. Das galvanische Auftragen kann sowohl bei einem legierten als auch bei einem unlegierten Stahl erfolgen. Die erreichbaren Schichtdicken sind um ein Vielfaches größer als etwa beim Härteln durch Ionenimplantation. Zum Härteln können jedoch auch die Härt- und Beschichtungsverfahren eingesetzt werden, die in der Hauptanwendung beschrieben sind, wobei jedoch auf die erfundungsgemäße Temperaturführung zu achten ist.

Es kann auch vorteilhaft sein, daß die wärmeverzugsfreie Härtung der Oberfläche des Werkstückes durch Einsatz eines Lasers erfolgt. Der Einsatz eines getakteten oder gepulsten Lasers ermöglicht eine gezielte, lokal begrenzte thermische Härtung in einer sehr kurzen Zeit, so daß keine Erwärmung des Restwerkstoffes bis in Bereiche der Rekristallisationstemperatur eintritt. Die Geometrie der Verzahnung bleibt aufgrund der punktuellen Erwärmung unverändert. Ferner wird die Qualität der bereits verfestigten Zahnschlankenoberfläche durch den Lasereinsatz nochmals verbessert, indem Rauigkeitsspitzen beseitigt werden. Durch den Einsatz eines Lasers kann eine Schichttiefe erzeugt werden, die um ein Vielfaches größer ist als die beim Ionenimplantieren erreichte Schichtdicke.

Bevorzugt erfolgt die wärmeverzugsfreie Härtung durch Einsatz eines Lasers in einer Oberflächenschicht von etwa 0,2 mm. Eine Härtung mit der genannten Schichtdicke gelingt in sehr kurzer Zeit. Dies bringt gleichzeitig mindestens zwei Vorteile mit sich. Zum einen wird durch die Kürze der Einsatzzeit des Lasers eine Erwärmung des Werkstückes in Bereiche der Rekristallisationstemperatur zuverlässig verhindert. Zum anderen werden kurze Stückzeiten erreicht, so daß höchst effizient gearbeitet werden kann. Zudem kann das Getriebeteil in einer Einspannung auf einer Drückwalzemaschine edgeformt sowie mit einem Laser an der Maschine gehärtet und somit komplett bearbeitet werden.

Weiter ist vorteilhaft, wenn das Härteln der Oberfläche des Werkstückes unter Einsatz eines Schutzgases durchgeführt wird. Das Schutzgas wird auf eine Temperatur unterhalb der Rekristallisationstemperatur, insbesondere auf Raumtemperatur gehalten. Das inerte Schutzgas ist vorzugsweise Argon, Helium oder ein Gemisch daraus.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird die Verzahnung durch einen Laser entgratet. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn auch die Härtung unter Einsatz eines Lasers erfolgt. Damit kann der Laser in Doppelfunktion eingesetzt werden, was den apparativen Aufwand vermindert.

Eine bevorzugte Ausführungsform des Verfahrens besteht darin, daß das Schutzgas in Strömung versetzt wird und daß das Werkstück zumindest in dem zu härtenden Bereich gezielt mit dem Schutzgas angeströmt und auf eine Temperatur unterhalb der Rekristallisationstemperatur gekühlt wird. Das Schutzgas dient dabei als ein Kühlmittel, welche die erfundungsgemäße Temperaturführung unterstützt.

Dabei ist es bevorzugt, daß der Laser einen Laserstrahl erzeugt und daß parallel zu dem Laserstrahl ein Schutzgasstrom erzeugt wird, der den Laserstrahl umhüllt und von der Umgebungsatmosphäre abschirmt. Der Schutzgasstrom schirmt die Bearbeitungsstelle von der umgebenden Sauerstoffatmosphäre ab, so daß eine unverwünschte Verzunderung der Werkstoffoberfläche verhindert wird. Des Weiteren werden durch den Schutzgasstrom abgebrannte Werkstückteilchen von der Bearbeitungsstelle entfernt.

Eine besonders hohe Härte der Werkstückoberfläche wird

nach der Erfindung dadurch erreicht, daß dem Schutzgas Diffusionselemente beigemengt werden. Diese Diffusionselemente können beispielsweise Stickstoff, Bar, Kohlenstoff oder ein Siliziumdampf ($SiCl_4$) sein. Im Bereich der kurzzeitigen, punktuellen Erwärmung der Werkstückoberfläche mittels des Lasers können diese Diffusionselemente in den Werkstoff eindiffundieren und so zu einer weiteren Erhöhung der Härte der Randschicht beitragen.

Um eine unerwünschte Erwärmung des Werkstoffes über die Rekristallisationstemperatur beim Härteln zu vermeiden, kann das Härteln in mehreren Schritten durchgeführt werden. Dabei ist es erfundungsgemäß, daß in einem ersten Schritt das Werkstück gehärtet und erwärmt wird, bis eine definierte obere Temperatur erreicht wird, die unterhalb der Rekristallisationstemperatur liegt, daß das Härteln unterbrochen und das Werkstück abgekühlt wird, bis das Werkstück eine definierte untere Temperatur erreicht hat, die unterhalb der oberen Temperatur liegt, und daß der erste Schritt so oft wiederholt wird, bis das Werkstück die vorgesehene Härte erreicht hat. Grundsätzlich ist es dabei möglich, daß für die einzelnen Schritte unterschiedliche Härtverfahren eingesetzt werden.

Der Erfindung liegt die überraschende Erkenntnis zugrunde, daß, ausgehend von praktisch beliebigen Stählen, Getriebeteile wie Zahnräder oder Kupplungslamellenträger mit hoher Oberflächenhärte erzeugt werden können. Dies wird dadurch ermöglicht, daß bestimmte Temperaturbedingungen bei der Durchführung des Verfahrens berücksichtigt werden. Entscheidend ist dabei, daß weder während des Drückwalzens noch bei der nachfolgenden wärmeverzugsfreien Härtung die Rekristallisationstemperatur des Werkstoffes überschritten wird. Da insbesondere kein lang andauernder Wärmeprozeß zur Härtung in der Fertigungskette erforderlich ist, reduziert sich die Herstellungszeit eines Werkstücks von bisher mehreren Stunden drastisch auf höchstens wenige Minuten.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines profilierten Getriebeteils, bei dem

- ein Werkstück aus einem Stahlwerkstoff durch Drückwalzen umgeformt und
- dabei eine Profilierung in das Werkstück eingeformt wird,

dadurch gekennzeichnet,

- daß die Profilierung in das Werkstück bei einer Temperatur unterhalb der Rekristallisationstemperatur des Stahlwerkstoffes drückgewalzt und dabei das Werkstück gezielt kaltverfestigt wird,
- daß nach dem Umformen die Oberfläche des mit der Profilierung versehenen Werkstückes wärmeverzugsfrei gehärtet wird und
- daß die Temperatur des Werkstücks während der wärmeverzugsfreien Härtung der Oberfläche unterhalb der Rekristallisationstemperatur des Stahlwerkstoffes gehalten wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in das Werkstück beim Umformen eine Verzahnung eingeformt wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Härteln der Oberfläche des Werkstückes durch galvanisches Auftragen einer harten Schicht erfolgt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Härteln der Oberfläche des Werkstückes durch Einsatz eines Lasers erfolgt.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeich-

net, daß zum Härtcn der Oberfläche des Werkstückes
ein getakteter Laser benutzt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 oder 5, da-
durch gekennzeichnet, daß das Härtcn mittels des La-
sers auf eine Schichttiefe bis höchstens 0,2 mm unter-
halb der Oberfläche des Werkstückes begrenzt wird.
5

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4, 5 oder 6,
dadurch gekennzeichnet, daß das Härtcn der Oberflä-
che des Werkstückes unter Einsatz eines Schutzgases
durchgeführt wird, welches auf eine Temperatur unter-
halb der Rekristallisationstemperatur gehalten wird.
10

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeich-
net, daß das Schutzgas auf Raumtemperatur gehalten
wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 oder 8, da-
durch gekennzeichnet, daß das Schutzgas in Strömung
versetzt wird und daß das Werkstück zumindest in dem
zu härtenden Bereich gezielt mit dem Schutzgas ange-
strömt und auf eine Temperatur unterhalb der Rekri-
stallisationstemperatur gekühlt wird.
15

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, dadurch gekennzeichnet,
daß das Härtcn in mehreren Schritten durchgeführt
wird,

daß in einem ersten Schritt das Werkstück gehärtet und 25
erwärmt wird, bis eine definierte obere Temperatur er-
reicht wird, die unterhalb der Rekristallisationstempe-
ratur liegt,

daß das Härtcn unterbrochen und das Werkstück abge-
kühlt wird, bis das Werkstück eine definierte untere 30
Temperatur erreicht hat, die unterhalb der oberen Tem-
peratur liegt, und

daß der erste Schritt so oft wiederholt wird, bis das
Werkstück die vorgesehene Härte erreicht hat.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Werkstück
durch einen Laser entgratet wird.
35

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, da-
durch gekennzeichnet, daß dem Schutzgas Diffusions-
elemente beigemengt werden.
40

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 12, da-
durch gekennzeichnet, daß der Laser einen Laserstrahl
erzeugt und daß parallel zu dem Laserstrahl ein Schutz-
gasstrom erzeugt wird, der den Laserstrahl umhüllt und
von der Umgebungsatmosphäre abschirmt.
45